第8卷 第1期 昆虫学报 Vol. VIII, No. 1
1958年1月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA January, 1958

有效温度法則在我国粘虫發生地理学上的檢驗*

林昌善 郑臻良
(北京大学生物学系昆虫学研究室)

一、引 言

在生物發育学的發展历史上先軀工作者 Reaumer (1735) 很早就提出植物的季节現象，例如谷类或果实的成熟都同植物生长季节的日平均温度保持一定的关系。他并且指出不同年份的类似的計算以及不同地带如热带、温带及寒带相同谷类的成熟期間內的平均温度的累积都是相等的。因此，他指出：生物受总热量后，对生长的影响为一常数。这种概念一般可以下列公式表之：

$$NT=K \quad (1)$$

其中 N 为生长期間所需的时間，T 为平均观察温度，K 为一常数。因为速率 $(V)=\frac{1}{N}$，因而每一种过程的速率(V)就以下列公式表之：

$$V=\frac{T}{K} \quad (2)$$

在理論上公式(1)中的温度与时間关系的曲綫为正双曲綫，同时公式(2)中的温度与速率的关系为一直綫。实际上，生物的發育起点并非同水的結冰点相吻合，而是在不同种的生物或不同的生命过程是不一样的。因此，Gasparin (1844) 提出有效温度的概念而且把 5°C 定为有效温度的起点，亦即現在所謂的發育起点温度(C)，这样以上公式(1)就可以修訂为：

$$N(T-C)=K \quad (3)$$

这公式(3)就成为目前常用的公式来表示昆虫在一定温度范圍內其發育所需的有效总温度为一常数。Simpson (1903) 第一个發展了“温积常数”的概念，且以“日度”作为此常数的单位。

随后許多学者深入研究了各种不同反应同温度的关系而提出了不同的公式。例如，Von't Hoff (1884)提出了Q_{10}公式，Krogh(1914 a,b)提出了K_{10}的常数，Arrhenius(1915)提出了“温度特征”(μ)的常数，Janish(1928)提出对称垂曲綫倒数关系，Bělehradek(1935)提出了对数曲綫公式，以及最近 Davidson(1942, 1944)应用了“邏輯斯諦”曲綫(Logistic curve)来表示温度与速率的关系等等。要之，他們都从各自研究的資料提出更适合的公式来表示化学反应或生物發育速率与温度的关系。

無論如何，昆虫和其他無脊椎动物一样均属于变温动物亦即它們的体温是随着外界

* 本文承中国科学院昆虫研究所馬世駿先生及北京大学張宗炳教授提供許多宝貴意見，特此志謝。

环境温度变化而变化。它的生命过程如呼吸，心搏等代謝过程的速率也将随体温改变而改变，那就是在一定范圍內是随着温度高低而加速或減慢。同样，作为各个代謝过程的綜合效应——發育速率亦是如此。

过去曾經有很多位昆虫学家应用有效温度法則来檢查各种昆虫的不同發育阶段，卵、幼虫、蛹、成虫或某些生命代謝过程所需要的总热量。Krogh (1914a) 研究黄粉岬 (*Tenebrio molitar*)，Sanderson & Peairs (1914) 研究了一般昆虫發育与温度关系，Blunck (1923) 研究了龙虱 (*Dytiscus marginalis*)，Bodenheimer (1925) 研究了地中海果蝇 (*Ceretitis capitata*)，Ludwig (1928, 1933) 研究了日本金龟岬 (*Popillia japonica*) 和果蝇 (*Drosophila melanogaster*)，Filinger (1931) 研究了一种螟蛾 (*Phlyctaenia ferrugalis*)，八木誠政 (1934) 研究了二化螟 (*Chilo simplex*)，Ahmad (1936) 研究了地中海谷蛾 (*Ephestia küehniella*)，Birch & Snowball (1945) 研究了小谷蠹 (*Rhizopertha dominica*) 和 Browning (1952) 研究了蟋蟀 (*Gryllulus commodus*)。苏联学者又应用了有效温度法則来檢驗各地区各种害虫發生代数与有效温积的关系，經过实际的檢驗証明有效总温积同世代的数目有一定的关系。这类經过檢定昆虫包括有瑞典麦杆蝇 (*Oscinosoma frit*)，蕪菁叶蜂 (*Athalia colibri*) 小菜蛾 (*Plutella maculipennis*) 草地螟 (*Loxastege sticticalis*)，苹果蠹心虫 (*Lespeyresia pomonella*)，玉米螟 (*Pyrausta nubilalis*)，黄地老虎 (*Agrotis segetum*) 等 (以上均引自 Щеголев, 1949) 他們应用有效温积法則的原理可以計算出各个地区这些害虫的可能發生世代数目或大概的指标。这些計算的世代数目同实际發生的世代数目在一定程度上是吻合的。

在我国因为地理幅員广大，地跨温热两带，分布面积較大的害虫应是一个檢驗温度法則的好对象。因此我們想借用粘虫作为研究对象来檢驗这个法則在我国气候条件下的应用。

在国內关于粘虫温积与發育关系的研究据我們搜集資料只有零星片断的發生情况的报导，而有关發育起点的观察只有刘增义等 (1956) 在 20°C 及 30°C 恒温下飼养的結果。卵、幼虫及蛹期的發育起点温度各为 13.7°C, 8.2°C 及 10.2°C。他們幷沒有把这一結果与各地区的气候資料及有关粘虫發生的零星报导加以整理綜合，得出有关粘虫在我国各地区可能發生世代約数与有效温积的关系。

本文目的就是通过实驗室工作找出粘虫各虫期的發育起点及發育需要有效温积常数，幷搜集全国气候資料进行分析各地区的可能發生世代数目幷与实际發生世代数目作比較。按照核对的結果我們将全国粘虫發生区划分为不同的世代区，作为我国昆虫發生地理学的初步資料，以供防治粘虫工作者作参考。根据我們初步檢查的結果，我們認为有效温度法則在粘虫的發生地理学在一定程度上是可以应用的。但是，因为种种原因 (参閱討論一节) 本法則受到一定的限制。

二、研究方法

为了叙述方便，我們将研究方法分成三部分：(i) 試驗室內温积試驗及其結果的分析方法，(ii) 全国气候資料的搜集、整理与綜合 (iii) 全国粘虫發生地理学資料的搜集与理論世代数目的核对。

(一)試驗室內温积試驗及其結果的分析方法

这一段工作主要在試驗室內条件下研究粘虫各虫期的發育情况。我們試驗所用的粘虫系由中国科学院昆虫研究所生物防除組供应。这些粘虫已經在所內飼养多年幷經专家鑒定为 *Cirphis unipuncta* Haw.。材料取回后又在我們試驗室內在定溫定湿的条件下(溫度为 27°C±1.0°C 及相对湿度为 75—80%)，幼虫以玉米幼苗喂养，成虫以糖水喂养。我們供試的粘虫都是从这种試驗室条件內飼养出来的。

温积試驗的設計： 为了檢定粘虫各虫期在不同溫度条件下發育的速率，我們选定 15°, 18°, 20°, 25°, 30°C 五个不同溫度条件。供試驗用的溫箱有大小不同的类型，30°C 及 25°C 較为稳定(約为±0.5°C)，15°C 及 20°C 溫度的稳定性較差(約±1.0°C)，18°C 溫度变动范圍在以上二者之間，不足 1°C。就在这五种不同溫度条件下我們分别以各虫期及各龄期加以培养。各虫期及各龄期均分別飼养，成虫則分对飼养。試驗各組所用虫数多寡不一（詳細情况見表 2）。我們按不同虫期分別以大小不同的玻璃瓶及指形管飼养。容器內均以飽和 $NaNO_2$ 溶液保持 65% 的相对湿度，每天檢查一次，記录其在各处理条件下卵期、幼虫各龄期、蛹期及成虫性成熟期(以产卵盛期为标准)的长短。現在將各虫期試驗所用器材等分别概述如下：

(1) 卵： 在 250 毫升广口瓶中，放入 2×5 厘米标本管 1 个。在标本管內，放入当天(24 小时內)产下的卵 100 粒。在标本管口塗以凡士林一圈，以防幼虫孵化后逸出幷設法以鉄絲將标本管支持，使不致倒下或接触瓶壁。在广口瓶与标本管間注入飽和 $NaNO_2$ 溶液，以保持一定的相对湿度。

(2) 幼虫： 在 9×11 厘米鉄盖瓶中，放入 2×9 厘米标本管 8 个，每一标本管放入經擦干的玉米嫩叶若干。在标本管口塞以棉花球，同样在鉄盖瓶內注入 $NaNO_2$ 飽和溶液以維持一定湿度。但由于塞紧了的棉花球以及潮湿的新鮮叶片的存在，以致使标本管中可能有游离水珠出現，而使幼虫(尤其是 1—3 龄幼虫)被水珠粘住死亡，因此对 1—3 龄幼虫改用方法如下：用 6×9 厘米玻皿，放入玉米叶少許，以每厘米約 34 孔的絲質紗布蒙盖。每皿放入同一天孵化(或蛻皮)的幼虫数条，在上述鉄盖瓶內飼育。

(3) 蛹： 在 6×9 厘米玻皿中，放入經高溫消毒的湿土(含水量約为 15%)約 1 厘米深。在湿土表面放入当天化成的蛹 5 头(不分性别)，于上述鉄盖瓶中；仍以 $NaNO_2$ 維持湿度。

(4) 成虫： 在250毫升广口瓶中，各放入当天羽化之成虫一对(其性别根据后翅翅韁数目，♂具翅韁 1 个，♀性具翅韁 3 个)及干稻草数条，上蒙以每厘米約 16 孔的紗布，在紗布上放有以 1/3 蜜水浸潤的棉花一塊(为了保証瓶內空气的流通，湿棉花的大小不超过瓶口的 1/2)，以便成虫取食。每天檢查产卵一次，記录其产卵数。以自羽化起至最高产卵量来临日止所經的日数，作为在各溫度下成虫产卵所需要的日数。同样，成虫处理亦在 65%的相对湿度下进行。

关于各虫期發育起点与有效温积求得方法的說明：

由于已經假定溫度(T)与發育速率(V)成直綫关系，即 $T=a+bV$；且有效温积数(K)与發育起点(C)有一定关系，$K=N(T-C)$；因此可將此两公式連系如下：

已知 $K=N(T-C)$, $V=\frac{1}{N}$, $N=\frac{1}{V}$.

则 $K=\frac{T-C}{V}$, $VK=T-C$, $T=C+KV$.

因此 a 相当于 C, b 相当于 K。

由此,可以把各虫期的發育速率与温度关系写成 $T=C+KV$,或 $V=\frac{T-C}{K}$ 的标准形式。其几何圖形如圖1实綫所示。

由此，可以代入一般統計学上常用的以"最小自乘方"决定系数的公式(Richardson, 1935)分别决定 K 及 C 两个常数如下：

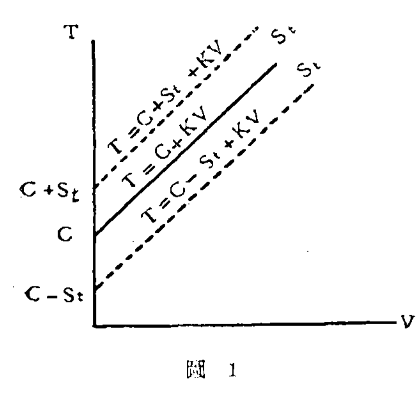


圖 1

$$K=\frac{n\Sigma VT-\Sigma V\Sigma T}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2},\qquad C=\frac{\Sigma V^2\Sigma T-\Sigma V\Sigma VT}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2}.$$

其中 n 为次数或处理項目，在本实驗中計有5个温度处理，故 $n=5$。但是由于以上方法所求出的只是平均的發育速率与温度关系。因此同时求出此直綫公式的估計标准誤差 (Standard error of estimate)。其对温度的估計标准誤差 (S_t) 可以由 $S_t=\sqrt{\frac{\Sigma\rho_i^2}{n}}$ 求得 (Richardson, 1935) 其中 $\rho_i=T_i$ 的观察值 $-T_i$ 的計算值。S_t 可以視为發育起点 C 的标准誤差(圖1虚綫)。

例如卵期在15°C下为15天(見表2)故發育速率为0.0667 $\left(\text{即}\frac{1}{15}\right)$ 同样在18°C, 20°C, 25°C以及30°C下發育速率分别为: 0.1111; 0.1428; 0.2899; 以及0.3322代入公式和發育起点(C)为13.1°C,有效温积(K)为45.3日度(見表1)。

表1 發育起点与有效温积求得方法示例(粘虫卵期)

$T(C)$ 观察值	V 观察值	VT	V^2	T'* 計算值	$T-T'$ (ρ_i)	$(T-T')^2$ (ρ_i^2)
15	0.0667	1.0005	0.0044	16.1	−1.1	1.21
18	0.1111	1.9998	0.0123	18.1	−0.1	0.01
20	0.1428	2.8560	0.0204	19.6	0.4	0.16
25	0.2899	7.2475	0.0900	26.2	−1.2	1.44
30	0.3322	9.9660	0.1104	28.1	1.9	3.61
Σ 108	0.9427	23.0689	0.2375			6.43

$$K=\frac{n\Sigma VT-\Sigma V\Sigma T}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2}=\frac{5\times 23.0689-0.9427\times 108}{5\times 0.2375-(0.9427)^2}=\frac{13.5329}{0.2987}=45.3(\text{日度})$$

$$C=\frac{\Sigma V^2\Sigma T-\Sigma T\Sigma VT}{n\Sigma V^2-\Sigma(V)^2}=\frac{0.2375\times 108-0.9427\times 23.0689}{5\times 0.2375-(0.9427)^2}=\frac{3.9039}{0.2987}=13.1(°C)$$

* T' 由 $C+KV$ 公式即 $13.1+45.3V$ 求得

因此,其平均的發育速率与温度关系公式为

$$V=\frac{T-13.1}{45.3}.$$

由此可算出在各發育速率下温度的計算值(T')如表一所示。由此結果，可以从 $S_t=\sqrt{\frac{\Sigma\rho_i^2}{n}}$ 算出發育起点(C)的标准誤差(S_t)。例如卵期已知 $\Sigma\rho_i^2=6.43$(見表1)故

$$S_t=\sqrt{\frac{6.43}{5}}=\sqrt{1.2}=1.1.$$

因此，粘虫卵期發育速率与温度的关系公式应为

$$V=\frac{T-(13.1\pm1.1)}{45.3}$$ （見表3）。

其他各虫期的計算方法与卵期相同（詳細結果見表3）。

（二）全国气象資料的搜集与整理

气象資料是由軍委中央气象局1951年出版的“中国气象資料”一書內取得全国若干地点（計东北、內蒙17点，华北24点，西北12点，华东51点，中南16点，西南11点，共131点）的常年每月平均气温紀录。在实驗結束后，根据所求知的發育起点（C）；按常用的$K=N(T-C)$公式，算出各地区常年每月可能积累的有效温积数以及全年的有效温积总数。但如逢該月平均温度低于其發育起点，則該月有效温积数以零計算。如用公式表示，則K_1平均有效温积数$=\sum_{i=1}^{i=12}(T_i-A)N_i$。

当$T_i\geqslant C$时，則$A=C$；当$T_i\leqslant C$时，則$A=T_i$，即$T_i-A=0$；其中K_1为各地平均有效温积总数，T_i为i月份的常年平均温度，N_i为i月份的日数（2月份經常以28天計算）。例如北京市常年平均气温（摘自中央气象局1951；按1841—1936年間紀录計算）如下：

月份	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
月平均温度 單位：℃	−4.6	−1.5	5.0	13.6	20.1	24.4	26.1	24.9	20.1	12.7	3.9	−2.6

則北京常年对粘虫整个生活史發育而言（$C=9.6$，見表3）为$K=30(13.6-9.6)+31(20.1-9.6)+30(24.4-9.6)+31(26.1-9.6)+31(24.9-9.6)+30(20.1-9.6)+31(12.7-9.6)=2286.4$日度。同样，可根据$K_2$（最大有效温积总数）$=\sum_{i=1}^{i=12}(T_i-A_2)N_i$

当$T_i\geqslant C-S_t$时，$A_2=C-S_t$；当$T_i\leqslant C-S_t$时，則$A_2=T_i$；

K_3（最小有效温积总数）$=\sum_{i=1}^{i=12}(T_i-A_3)N_i$

当$T_i\geqslant C+S_t$时，$A_3=C+S_t$；当$T_i\leqslant C+S_t$时，則$A_3=T_i$；

求出各地的K_2以及K_3值。

北京市常年对粘虫整个生活史發育（$C=9.6, S_t=1.0$，見表3）而言的$K_2=2500.4$，$K_3=2042.4$（見表4）。其他各地的常年有效温积总数亦系由同法求得。

此外，为了比較哈尔濱与北京两地的粘虫發生历与温积的关系，又从中央气象台取得各該两地的5厘米深处的土温紀录（詳細討論見資料分析与結果）。

（三）全国粘虫發生地理学資料的搜集与理論世代数目的核对

有关全国粘虫發生地理学資料，除了录自杂志外，主要由中央农業部植物保护局，植物保护司，以及华北农業科学研究所麦作害虫組取得。我們曾查閱了該两处所存的有关粘虫發生情况的資料，摘录其中有关粘虫在各地發生世代数的部份，作为实际發生情况資料，在試驗結束后加以整理且与根据室內試驗而估計的各地可能發生世代数目加以核对比較。

三、材料分析及結果

(一)粘虫各虫期的發育起点与有效温积数

本实験主要部份在 1956 年 2 月 10 日到 6 月底进行，在 10 月至 11 月間对其中重复不够部份，又作了一些补充，結果如下：

表 2 粘虫在不同温度下为完成某一發育阶段所需日数

發育阶段	在 15°C 下發育所需日数	在 18°C 下發育所需日数	在 20°C 下發育所需日数	在 25°C 下發育所需日数	在 30°C 下發育所需日数
卵 期	15.00 (15) 100	9.00 (9) 100	7.00 (7) 100	3.45±0.18 (3–4) 300	3.01±0.04 (3–4) 300
1 龄幼虫	5.09±0.19 (5–6) 26	3.75±0.41 (3–4) 15	3.36±0.49 (3–4) 11	2.43±0.55 (2–4) 37	2.33±0.48 (2–3) 15
2 龄幼虫	5.85±0.53 (5–7) 26	4.80±0.64 (4–6) 10	3.08±0.29 (3–4) 13	2.04±0.19 (2–3) 26	2.11±0.27 (2–3) 10
3 龄幼虫	7.10±0.86 (6–8) 10	4.14±0.88 (3–5) 7	3.12±0.33 (3–4) 8	2.29±0.45 (2–3) 17	2.11±0.27 (2–3) 10
4 龄幼虫	7.30±1.25 (6–9) 17	5.09±0.81 (4–6) 11	4.75±0.66 (4–6) 8	2.63±0.67 (2–4) 33	2.20±0.71 (2–3) 10
5 龄幼虫	12.33±2.40 (10–16) 12	5.93±0.96 (5–7) 11	5.11±0.56 (4–6) 9	4.04±0.13 (4–5) 24	2.55±0.55 (2–3) 9
6 龄幼虫 (包括前蛹期)	16.08±1.26 (14–18) 12	13.36±1.29 (12–15) 11	10.60±0.83 (10–12) 14	9.50±0.67 (8–10) 10	8.67±0.74 (8–10) 6
幼 虫 期	53.75±9.55 (46–64)	37.07±5.86 (24–43)	30.06±4.16 (27–36)	22.92±3.23 (17–24)	20.38±3.06 (18–25)
蛹 期	68.00 (68) 2	20.63±0.88 (19–22) 11	14.44±1.32 (13–16) 11	9.39±0.65 (9–11) 24	7.27±0.63 (6–8) 11
成虫产卵	20.00±1.82 (18–22) 4	13.80±1.07 (13–15) 5	8.60±0.89 (8–10) 5	6.83±0.97 (6–8) 6	5.60±0.55 (5–6) 8
整个生活史	156.75±11.73 (149–163)	80.50±7.81 (76–87)	60.07±6.28 (55–69)	42.99±5.03 (35–52)	36.26±4.28 (32–43)

注：括弧內数字为日数或其变动范圍，右下角数字为观察头数，成虫为对数。

由以上結果，按 $V=\frac{1}{N}$ 公式，算出各虫期在不同温度下的發育速率(V)，以表示在

这些温度下每天所能完成的各該發育阶段的發育比例。再由这些在不同温度下的不同虫期的發育速率，按前述的"最小自乘方"法，决定各虫期的發育起点發育温积以及温度与發育速率的关系公式如下：

表 3　粘虫各虫期的發育起点与有效温积

發育阶段	發育起点(°C) $(C\pm S_t)$	有效温积(日度) K	温度与發育速率关系的理論公式
卵期	13.1±1.1	45.3	$V=\frac{T-(13.1\pm1.1)}{45.3}$
幼虫期	7.7±1.3	402.1	$V=\frac{T-(7.7\pm1.3)}{482.1}$
蛹期	12.6±0.5	121.0	$V=\frac{T-(12.6\pm0.5)}{121.0}$
成虫产卵	9.0±0.8	111.0	$V=\frac{T-(9.0\pm0.8)}{111.0}$
整个生活史	9.6±1.0	685.2	$V=\frac{T-(9.6\pm1.0)}{685.2}$

(二)粘虫發生地理学与温积的关系

由上述实驗結果，我們試根据全国各地(計 131 点)常年每月平均气温資料，算出各地对粘虫發育而言的常年可能积累的有效温积总数(K_1, K_2 以及 K_3)，并依此估計各該地区的可能發生世代数目，最后与我們所掌握的实际發生世代数目資料，进行比較，以資核对。兹略举数例如下(表 4)：

表 4　粘虫在我国各地的可能發生世代数与其温积的关系

地名	緯度	經度	海拔(米)	平均有效温积总数(日度) $K_1=\Sigma(t-9.6)$	$\frac{K_1}{K}$	最大有效温积总数(日度) $K_2=\Sigma(t-8.6)$	$\frac{K_2}{K}$	最小有效温积总数(日度) $K_3=\Sigma(t-10.6)$	$\frac{K_3}{K}$	估計發生世代数目	实际發生世代数目
滿洲里	49°38′	117°26′	646.3	869.3	1.27	1022.3	1.48	743.5	1.08	1—1⁺	1
齐齐哈尔	47°20′	123°56′	148.1	1233.2	1.81	1386.2	2.02	1080.2	1.58	1⁺—2	2
哈尔濱	45°45′	126°28′	141.5	1417.6	2.07	1570.6	2.29	1264.6	1.84	2	2
长春	43°55′	125°18′	215.7	1425.6	2.07	1578.6	2.34	1272.6	1.86	2	2
沈陽	41°47′	123°24′	44.3	1691.8	2.50	1869.5	2.77	1538.8	2.25	2—3	3
北京	39°56′	116°06′	51.3	2286.4	3.34	2500.4	3.65	2042.4	2.94	3—4	3—4
济南	36°06′	117°02′	53.9	2791.0	4.07	3005.0	4.39	2577.0	3.91	4—4⁺	4
西安	36°37′	101°49′	2275.0	2646.4	3.86	2776.7	4.05	2432.4	3.55	3⁺—4	4
南京	32°03′	118°47′	67.9	2820.3	4.12	2944.3	4.30	2756.3	4.02	4—4⁺	—
成都	30°41′	104°12′	503.1	2876.6	4.20	3154.6	4.60	2601.6	3.79	4—5	4—5
汉口	30°35′	114°17′	27.5	3087.8	4.51	3362.8	4.91	2815.9	4.11	4—5	—
福州	26°00′	119°20′	189.0	3723.0	5.43	4088.0	5.97	3358.0	4.90	5—6	6—7
广州	23°06′	113°18′	8.8	4562.5	6.66	4927.5	7.19	4197.5	6.13	6—7	7—8

由此可見，我們所推測的可能發生世代数与实际發生情况大致吻合，用同样方法，我們根据全国 131 点的計算結果划出粘虫在我国發生世代数的区域分布圖(見圖 2)。同时为了表示方便起見，我們选用了若干条全年平均气温等温綫作为粘虫發生世代数目区域分布的近似界限。它們是：

−2°C 等温綫为 1 代区与 2 代区之間的近似分界綫；

6°C 等溫綫为 2 代区与 3 代区之間的近似分界綫；
12°C 等溫綫为 3 代区与 4 代区之間的近似分界綫；
16°C 等溫綫为 4 代区与 5 代区之間的近似分界綫；
18°C 等溫綫为 5 代区与 6 代区之間的近似分界綫；
20°C 等溫綫为 6 代区与 7 代区之間的近似分界綫；
22°C 等溫綫为 7 代区与 8 代区之間的近似分界綫；
22°C 等溫綫以南为 8 代区。

我們曾將此結果与华北农業科学研究所麦作害虫室根据实际發生世代情况所繪出的各地区粘虫發生世代数目的区域分布圖(未發表資料)进行比較，两者是大致相符合的。

同时，我們曾参照"中国气候区划草案"(張宝堃等，1956)試將各地粘虫生长季(候平均气温≥10°C)的长短与粘虫可能發生世代的数目相連系，我們發現它們的关系大致如表 5。

表 5 粘虫生长季与其可能發生世代数目的关系

生长季(单位：候)	可能發生世代数	包括地区
12—23	1	大小兴安岭
24—35	2—3	东北大部地区
36—47	3—4	华北地区
48—59	5—6	四川盆地，黔鄂山地，长江三角洲浙閩地区部份
60—73	7—8	浙閩地区部份，两广，台灣，海南島

(三)粘虫發生历与溫积关系

以上只是把整个生活史作为一个单位，从平均每年粘虫可能积累的有效溫积总数与其在全国范圍內可能發生的世代数的地理分布的关系加以考虑。事实上，其每一虫期的發育起点与發育有效溫积是不相一致的。因此，特以哈尔濱与北京两地为例，从發生历与可能积累的溫积关系，作表分析如下(見表 6，表 7)。

由两表(表 6，表 7)可以看出如用粘虫發生历与溫积关系作具体檢查，則大体上均为吻合，且都指出了上述两地均以蛹期为其主要越冬虫态。从表 7 中可以看出就哈尔濱地区而言，推測發生虫期与实际發生虫期是極为吻合的，且指出了有部份第 3 代成虫出現的可能。因此有可能一少部份以成虫越冬(至于越冬的成虫是否在越冬过程中冻死，不在本文考虑之列)。

从表 4 中，更可看出虽然北京地区 $\frac{K_1}{K}$ 只有 3.34；但是仍然每年可能發生 4 个世代。但由于我們所取用的各虫期实际發生期系华北地区的一般粘虫發生历，而与北京市不可能完全一致，因此，使表 6 所示的推測發生虫期与实际發生虫期的吻合程度，不及表 7。

如果再从表 4 所計算 $\frac{K_2}{K}=3.78$，那么每年發生 4 代也有可能。

(四)关于我国北方地区可能越冬虫态及其与溫积累积的关系

承前所述，在較高的溫度下有較快的發育速率；因此在各地区不同的气候条件下，可能發生的世代数目各不一致。同样在寒冷(即低于發育起点的溫度)来临以前，各地区所可能殘存的粘虫各虫期亦各不相同。同时，由于發育速率不整齐与世代重叠現象，而使这些可能越冬的虫期(指越冬前殘存者，暫不考虑其是否可以在越冬后繼續存活)并不是单一

的虫期，而是一系列的虫期。

考虑到实际工作的需要，将我們初步的实驗結果，从可能越冬虫态与温积累积的关系作如下整理：因为各虫期的發育起点与發育温积各不相同，故先算出各虫期在整个生活史中所占的比重：

因为在每年的生长季两端的温度都为低温，因此在計算各虫期在整个生活史中所占的比重时，按在15°C下实驗結果进行。

由于在东北及华北地区一般最早出現的虫期为成虫，故暫定以初羽化成虫为每年發生历的起点。

例如成虫期在15°C下为20天，而在同温度下整个生活史共156.75天（見表2）。因此成虫期在整个生活史中所占比重为13%，其他虫期亦由同法算出其在生活史中的比重，結果見表8上列所示。表8下列数值系由同表上列数值到該虫期止的总和（例如卵期則为成虫期的13+卵期10共計23），表示至該虫期終了时，所完成的生活史部份在整个生活史中所占的比重。

表8　作为推測粘虫可能越冬虫期指标的粘虫各虫期在整个生活史中所占的比重

虫　　期	成虫期	卵期	1龄幼虫	2龄幼虫	3龄幼虫	4龄幼虫	5龄幼虫	6龄幼虫	蛹期
該虫期在整个生活史中所占的比重(%)(以15°C为标准)	13	10	3	4	5	5	8	10	42
至該虫期終了时，所完成的生活史部份在整个生活史中所占的比重(%)	13	23	26	30	35	40	48	58	100

由此結果，可大体上估計各地区粘虫的可能越冬虫态。例如北京市$\frac{K_1}{K}=3.34$，$\frac{K_2}{K}=3.65$，$\frac{K_3}{K}=2.94$（表4）。因此該地的可能越冬虫态可从第3代蛹(2.94)起，到第4代蛹(3.65)止。其中主要为第4代老練幼虫（3龄以后）(3.34)以及蛹态(2.94)，(3.65)。哈尔濱市$\frac{K_1}{K}=2.07$，$\frac{K_2}{K}=2.29$，$\frac{K_3}{K}=1.84$，因此該地可能越冬虫态为第2代蛹(1.84)以及第3代成虫(2.07)，卵期以及1.2龄幼虫恐不可能越冬。

如某年温度改变而使某些地区$\frac{K_1}{K}$，$\frac{K_2}{K}$以及$\frac{K_3}{K}$有所改变时，則可能越冬虫态亦将作相应的改变。可惜这方面尚缺乏实际資料可以証明，仍有待于各方面粘虫工作者及其他昆虫学工作者进一步探究。

四、討　論

(一)关于有效温积法則的应用及其局限性

在本文引言中我們已經叙述过去有許多学者提出各种不同公式来表示生物的發育速率与温度的关系。这些公式作为理論研究是有它們的意义。但是如用于昆虫生态学上，以估計与推測昆虫的每年可能發生世代数目，甚至大致發生历就不需要用过于复杂的数理公式，我們認为可以把这一关系看作直綫对待。亦正如此 Sanderson-Pearis-Krogh 的一般总結（温度与發育速率为直綫关系；温度与發育所需时間为正双曲綫关系；發育所需的有效温积总和为常数）对于田間工作者是有实踐的意义。它可以用来推測一年中不同季节各种不同發育时期的大約的出現时間，以及用来推測每年在不同地区可能發生的世

代数目。因此，Bodenheimer(1926)也提到了"昆虫在一定温度下發育所需要的有效总温积为一常数"的有效总温积法則。

我們承認温积法則有其普遍的指导意义，但是我們也不否定它的局限性和片面性。可以很清楚的看到决定昆虫生長發育速率的自然因素不仅是温度一个，其他自然因素如食物、光照、寄生等……尤其是湿度，亦在一定程度上影响發育进行的速率。

例如小泉清明(1929)利用Headlee(1921)关于湿度与豆象(*Bruchus obtectus* Say)發育速率关系的研究結果作了分析后，指出湿度与發育速率的关系可用：

$$K=\frac{100}{D-E(100-H)+b}$$

公式表示，其中K为發育速率，E为当时温度下空气最大水蒸气压，D为依虫体水分蒸發面、温度、气压以及風速而轉移的蒸發系数，H为相对湿度(%)，b为常数。

昆虫生活史各期(卵，幼虫，蛹及成虫)因适应的程度不同和生理状况不一，因此各虫期的發育起点与發育温积也不一样，很显然地，如果强求将整个生活史的發育起点固定为一个温度是与实际發育情况不很符合，不但如此，在自然条件下温度是經常变动的，而不像在恒温箱条件下那么稳定不变。同时昆虫生活的微气候条件下的情况与百叶箱的記录是迥然不同的。有此种种原因使得应用有效温度法則时受到一定的限制。正如 Щеголев 教授所指出："因此之故，有效温度法則，假如不是形式主义来对待它，而顧及到影响的可能性和所有一切的其他的因子的話仅只能暗示推論关于害虫世代可能的代数的某种大概的指标；根据昆虫發育的各个阶段的發生所必需的有效温度总和，仅只能在一定的天气条件之下，近似地計算某种阶段出現的大概期限"(Щеголев, 1949)。

虽然如此，我們認为温积法則作为一个生态学上的規律以决定与推測各昆虫在各地区的常年可能發生世代数目，与大致發生历，仍有一定的意义，而且有其預見性。可根据室內实驗結果与各地区气象資料，以推測与預見一大地区(包括某些尙未設置观測站的地区)的某种昆虫的常年可能發生世代数目及某虫期的大致出現日期。

我們認为：适于作温积研究，以决定其在各地区的可能發生世代数目的昆虫一般应具有下列条件：

1. 在生活史过程中，沒有滞育或至少沒有明显的滞育現象，有夏眠習性的种类(如榆叶岬)亦不宜。

2. 一般供研究的昆虫种类是广温性的且有較广的地理分布，否則决定其在各地区的可能發生世代数，将缺少实际意义。

3. 一年發生若干世代，且可以明显地感到其發生世代数目在不同温度条件下，各不相同。但一年發生世代数过多，世代过于重叠(如各种蚜虫)或一世代需要多年者(如金針虫和某些蠐螬)因越冬影响可能很大，推測时更有困难。

4. 在生活史过程中，供研究的昆虫有生活習性的明显改变者(如稚虫水生，而成虫却陆生等)应特别考虑水陆环境条件的显著差别这一特点。

5. 較易于室內飼养。

作者認为：果蝇、东亚飞蝗、榆毒蛾、青叶蟬、某些瓢虫、二化螟、三化螟、草地螟、小菜蛾、胡蜂等昆虫都可以作为試驗研究的对象。

(二)关于推測發生世代数目与实际發生世代数的差异程度及其引起原因的探討

由表4中可以看出，虽然推測發生世代数目与实际在自然界中發生的情况大致相似，但仍有所差异，且大体上表現为实际發生世代数目比我們計算所得的可能發生世代数略为加多。对此我們估計可能有下列原因：

1. 由于發育速率的个体差异而引起的生活史不整齐（世代重叠）所导致的：从表2中亦可看出，在不同个体間即使在相同温度下，为了完成某一發育阶段所需要的时間是不相一致的。如以25°C为例：最快的只需35天，而最慢的却需52天，而我們的温积計算是依据其平均数字(42.99天)求得的。因此在自然界正常的情况下，始終有一部分个体更早的完成其生活史周期，表現为实际發生世代数目，略較推測發生世代数为多，事实上，粘虫生活史的世代重叠現象，在很多作者(如魏鴻鈞，1953等)的著作中，均曾强調指出。

2. 由于变温及恒温条件下，發育速率不同所导致的：我們的实驗处理，是在恒温条件下进行的，因此不同于自然界实际的情况。在一定时期內，虽然两者可能积累的有效温积总数可以相同，但一般說来，在变动温度下昆虫有与恒温下不同的發育速率。Parker(1930)关于蝗卵的試驗亦証明了这一点。

3. 由于我們所取用的气象資料所导致的：我們对各地常年总有效温积的計算是依据于各地点的常年每月平均大气温度，因此有如下缺点：

(i) 决定昆虫生长發育的是其周圍的微气候条件，亦即所謂昆虫生态气候条件。就粘虫而言，除了蛹期及前蛹期在地下土壤环境內渡过，故受土壤温度的制約外，其他各虫期均在作物(或杂草)中生活。因此，如采用这些作物內的微气候温度紀录应当使結果更为精确。但是作者認为在本文所涉及的范圍——根据温积法則决定昆虫在各地区的可能發生世代数目——利用大气温度已經足够；而且在将本法則运用于实际工作时，亦沒有可能利用生境温度。

(ii) 在利用平均温計算时，有使有效温积总数减少的傾向。作者曾对北京地区1933—35年气温紀录分别按两种方法（按月平均温計算与按日平均温計算）統計过各年份的有效温积总数(以9.6°C为發育起点)，發現如按月平均温計算則較按日平均温計算分別减少为：2.5%(1933)，4.0%(1934)，0.7%(1935)，平均約为减少2.4%。

(iii) 粘虫蛹及老熟幼虫均在土中發育(或越冬)，因此土壤温度是决定此两虫期發育速率的直接因子。

4. 由于我們在决定各地的推測發生世代数目时，系把整个生活史作为一个单位，加以考虑，忽視了下列两点：

(i) 各虫期的發育起点，与發育有效温积不同。因此，如以每一虫期作为一个单位，来考虑其与發生历的关系，应当更为可靠与恰当，表6与表7的分析亦指出了这一点。

(ii) 各地区的越冬虫态、越冬場所可能不同，各地冬日自然低温作用对粘虫越冬虫期的影响亦不相同；因此越冬虫期的温度累积在各地亦有所差异。

5. 由于影响發育速率的其他生物与非生物因素的作用所导致的：我們在实驗中只檢查了温度(而且是恒温)一个因素对發育速率的影响。为了尽可能的排除其他因子的攪扰，人为地控制了飼养方法、食物种类、相对湿度以及光照情况，使之趋向于一致；同时也还免除了其被寄生性昆虫寄生的可能。

显然，湿度、光照、食物以及寄生情况等这些在自然界經常起作用的因素是会加速或延迟其發育的进行的。因此，企圖用有效温积一个指标来决定各地区的發生世代数目与推測各虫期發生日期是带有片面性的。但亦应指出：温度在一般情况下，仍是决定昆虫發育速率的主要因素。因此，根据有效温积的計算来估計与推測各地区的可能發生世代数目以及各虫期的大致出現季节，供防治参考，仍是可能的，我們的实験亦証明了这一点。

（三）关于越冬蛹羽化与温积累积的关系

在資料整理过程中，我們看到了一个很令人感到兴趣的情况。那就是在我国北方地区，最早的成虫出現期，这比各該地区为了累积其蛹羽化的有效温积〔$\Sigma(t-12.6)=121$日度〕所必須的日期为早。例如，根据东北粟夜盗虫研究工作組(1954)报告，1954年新金县4月11日解冻，4月15日即發現成虫，而与之相邻近的大連市常年4月份平均气温又有9.4°C。同一报告指出：該年在5月上旬有較多成虫活动。但至此时止，在有效温积累积上亦是困难的(大連市常年5月份平均气温为15.4°C)。

土山哲夫(1949)亦提供了同样的一个例証：1947年东北北部(以五常、拉林等地为例)，越冬蛹在5月中旬至6月中旬羽化。而与之相邻近的哈尔濱市此时常年平均气温为14.2°C。亦反应了成虫初現期，如按月平均温度計算，积累下的有效温积是極不足以为其發育所需要的。

去年(1956年)自4月中旬以来，东北、华北均有成虫出現(中央农業部植物保护局資料)亦反应了这一点。

对此，我們估計可能是下列因素綜合效果所导致的：

1. 由于土壤是北部地区粘虫主要越冬虫态——蛹期的越冬場所，其温度不同于我們所取用的大气温度。Костин (1951)指出：土壤温度的年变幅度是随着深度的增加而減少的，而土壤温度的常年平均值又应比气温的年平均值为高。

假如更考虑到在有雪复盖的情况下，对土温的保持更为有利(注：应当認为此时不可能积累任何有效温积，但保持一个相对稳定的温湿度条件以利于蛹的越冬是有很大意义的)。那末可以認为，作为粘虫蛹期越冬場所的土壤，其温度在一般的情况下可以比同时期的气温高出很多。

2. 由于粘虫蛹越冬前，可能已积累了一定数量的有效温积。如以哈尔濱为例，該处第2代蛹在8月下旬至9月上旬开始准备越冬。而这地区的8月份平均气温为22.2°C，9月份平均气温为14.3°C，那末在其越冬前，积累一部分有效温积是完全可能的。事实上，如表7所示，部分較早化蛹的个体甚至在当年即可能羽化發生第3代成虫。因此部分(或小部分)粘虫可能以成虫态越冬。

同样如上所述，在新金县4月11日解冻，15日即發現成虫，我們同意用东北粟夜盗虫研究工作組所提出的：有可能有成虫越冬的解釋。但是無論如何，蛹仍应被視作粘虫在东北及华北地区的最主要的越冬虫态。

3. 由于蛹在越冬过程中，經冬季自然低温处理而引起的發育速率改变：

如Ahmad(1936)对丽蝇(*Calliphora erythrocephala*)蛹的实験所指出的：在5°C下經8天处理与不处理比較，即可使处理蛹發育时間約縮短10%，且大体上表現为在較低温度下；其發育速率增加較多(引自Andrewartha & Birch, 1954)。因此，对粘虫說来，在自

然条件下，每年均需經过較长时間的低温作用（如东北北部地区甚至长达半年）有可能使这一作用表現得更为明显。

(四)关于各地区可能發生世代数目的决定

由以上討論可以看出在决定粘虫在各地区可能發生世代数时，不能单憑温度一个因素而加以肯定。就以温度而言，也不是由有效温积一个指标而予以确定的。作者認为，至少应同时考虑下列因素：

1. 作为推測依据的月平均温度紀录与日平均温度的差异。如前已指出在温度平均計算过程中有使有效温积总数减少的趋向。例如以北京地区1933—35年为例，按月平均气温計算的年有效温积数比按日平均气温計算平均减少2.4%。

2. 越冬虫期在越冬后所可能引起的發育速率加速的可能性。例如北京地区在越冬前粘虫蛹期平均已經积累的有效温积数只有4日度（見表6）。而自越冬后到第1代成虫羽化如按一般發育起点計算亦又能积累極少量的有效温积数。这除了由于生活史不整齐而引起的差异外，显然是由于越冬过程的影响效果。

3. 昆虫生境的温度情况及其与大气温度的差异。

4. 变温引起的發育速率改变以及高温对發育过程的抑制，低温对發育速率的加速效应（由于發育速率与温度的非綫性关系）。

最后应当指出：本文所討論的只是粘虫可能發生世代数的大致区域分布。至于每一地点、每一年份的实际發生情况，仍在很大程度上，决定于当时当地的各項因素（包括生物与非生物条件），其中地理条件可能亦是一个主要的影响因子。据西南农学院蔣書楠敎授来信云：四川省在1000米至1250米左右山地，粘虫一般每年發生3代，而在1600米以上高山地区，則只發生2代。因此，在本文中所繪出粘虫發生世代的区划圖并未考虑到海拔及地形地势的关系。至于这些地区是否有粘虫發生以及發生的多寡——这些問題的解决有賴于更多方面的研究——不在本文討論之列。

五、結　　論

由以上討論，可得出結論如下：

1. 有效温积法則，在一定条件下，用以估計与推測某些昆虫（如沒有明显的滞育现象）在某地的常年可能發生世代数目，及其大致發生历，仍然有一定的实用价值。

2. 粘虫不同虫期的發育起点与有效温积常数各不相同。按我們实驗結果：

卵期發育起点为13.1°C有效温积常数为45日度
幼虫期發育起点为7.7°C有效温积常数为402日度
蛹期發育起点为12.6°C有效温积常数为121日度
成虫期發育起点为9.0°C有效温积常数为111日度
整个生活史發育起点为9.6°C有效温积常数为685日度

3. 粘虫在全国各地的常年可能發生世代数目，在很大程度上，受温积法則所制約。亦就是說，凡愈处北方，全年平均气温愈低，常年有效温积总数愈小者，每年可能發生世代数愈少；反之，則愈多。因此，在各地区〔按自然地理区划（罗开富，1956）〕的可能發生世代数目大致是：

东北区	1—2代	康滇区	3—4代

华北区	3—4代	青藏区	1—2代
华中区	4—7代	蒙新区	2—3代
华南区	7—8代		

4. 作者認为：可以用如下全年平均气温的等温綫，作为粘虫在我国各地可能發生世代数目区域分布的近似界限：

−2°C等温綫为1代区与2代区間的近似界限
6°C等温綫为2代区与3代区間的近似界限
12°C等温綫为3代区与4代区間的近似界限
16°C等温綫为4代区与5代区間的近似界限
18°C等温綫为5代区与6代区間的近似界限
20°C等温綫为6代区与7代区間的近似界限
22°C等温綫为7代区与8代区間的近似界限

5. 由于粘虫在各地的越冬虫态不同，蛹的生活条件的独特性世代重叠的現象、以及其他生物与非生物条件的影响，使其在各地区可能發生世代数的决定复杂化。作者在对北京与哈尔濱两地粘虫各虫期的發生历与各該虫期所要求的有效温积数的关系，作具体的檢查后，認为在我国北部地区以蛹为主要越冬虫态的条件下，越冬蛹在温积累积上的独特性是影响推測發生世代数正确程度的重要因子。

参 考 文 献

[1] 人民革命軍事委員会气象局：1951．中国气象資料。
[2] 八木誠政：1934．二化螟虫の等發生帯に就いて。农事試驗場彙报 **2**(3)：381—94。
[3] 土山哲夫：1949．夜盜虫的生态与防除法。东北农研 **2**：27—31。
[4] 小泉淸明：1929．昆虫の發育に及ぼす大气湿度の影响に关する研究。动物学杂志 **41**(488)：252—70。
[5] 刘增义：1956．粘虫。中央农業部农作物病虫害預測預报訓練班講义(油印)。
[6] 刘增义、陈瑞鹿、李綿春：1956．粘虫。农業科学通訊 **56**(3)：167—72。
[7] 东北农業科学研究所、中国科学院昆虫研究所：1954．东北粟夜盜虫研究工作組报告(油印)。
[8] 罗开富：1956．中国自然地理区划草案(載"中国自然区域草案"1—20頁)。
[9] 張宝堃、段月薇、曹琳：1956．中国气候区划草案(載"中国自然区划草案"37—49頁)。
[10] 蔣書楠：1956．有关粘虫發生資料(通訊)。
[11] 魏鴻鈞：1951．华北的行軍虫。大众农業 **5**(3)：87—8。
[12] 魏鴻鈞：1953．粘虫。农業科学通訊 1953(7)：296—7。
[13] Костин, С. И.: 1951. Основы Метеорологии и Климатологии. Гидрометеорологическое издательство. (杜淪聪、白汝娴、秦鬫祖、方鏇淸譯，1953).
[14] Щеголев, В. Н. 等：1949. Сельскохозяйственная Энтомология. Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. (西北农学院昆虫教学研究組譯，1949).
[15] Ahonad, T.: 1936. The influence of ecological factors on the Mediterraneau flour moth *Ephestia kühniella* and its parasite *Nemeritus canesceus*. *J. Animal Ecol.* **5**: 67—93.
[16] Allee, W. C. etc.: 1949. Principles of Animal Ecology. Philadelphia and London.
[17] Andrewartha, H. G. & L. C. Birch: 1954. The distribution and Abundance of animals. Chicago.
[18] Arrhenius, S.: 1915. Quantitative laws in biological chemistry.
[19] Bělehdádek, J.: 1935. Temperature and living matter, Berlin. Borutraeger.
[20] Birch, L. C. & Snowball, G. J.: 1945. The development of the eggs of *Rhizopertha dominica* Fab. (Col.) at constant temperatures. *Australian J. Exper. Biol. & M. Sc.* **23**: 37—40.
[21] Blunck, H.: 1923. Die Entwickelung des *Dytiscus marginalis* L. Vom Eibis Zur Imago. 2 Tiel, Die Metamorfhose. *Zs. Wiss. Zool.* **121**: 171—391.
[22] Bodenheimer, F. S.: 1925. On predicting the developmental cycles of insects, I. *Ceratitis capitata* Wied. *Bull. Soc. Ent. Egypte*, 1924: 149—57.
[23] Bodenheimer, F. S.: 1926. Über die Voraussage der Generationszahl von Insekten, III. Die Bedeutung des Klimas für die landvoirtschaftliche Entomologie. *Zs. angew. Ent. Berlin*, **12**: 91—122.
[24] Browning, T. O.: 1952. The influence of temperature on the rate of development of insects, with

special reference to the eggs of *Gryllulus commodus* Walker. *Australian J. Scient. Research*, B **5**: 96—111.
[25] Davidson, J.: 1942. On the speed of development of insect eggs at constant temperatures. *Australian J. Exper. Biol. & M. Sc.* **20**: 233—9.
[26] Davidson, J.: 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insect at constant temperatures. *J. Animal Ecol.* **13**: 26—38.
[27] Filinger, G. A.: 1931. The effect of temperature on feeding and development of the leaf-tyer, *Phlyctaenia ferrugalis* *J. Econ. Ent.* **24**: 52—4.
[28] Fisher, R. A. & F. Yates: 1948. Statistical tables for biological agricultural and medical research, Londen.
[29] Gasparin, Comte de A. E.: 1943-48. Cours d'agriculture. Paris, La Maison Rustique, 4 Vols.
[30] Headlee, T.: 1921. The response of the Bean Weevil to different percentages of atmospheric moisture. *Jour. Econ. Ent.* **14**: 264—9.
[31] Janish, E.: 1932. The influence of temperature on the life history of insects. *Tr. Ent. Soc.* London **80**: 137—68.
[32] Krogh, A.: 1914a. On the rate of development and CO_2 production of Chrysalides of *Tenebrio molitor* at different temperatures. *Ztschr. Allg. Physiol.* **16**: 178—90.
[33] Krogh, A.: 1914 b. On the rate of embryonic development. *Ztschr. Allg. Physiol.* **29**: 29—36.
[34] Ludwig, D.: 1928. The effects of temperature on the development of an insect (*Popillia japonica* Newman). *Physiol. Zool.* **1**: 358—89.
[35] Ludwig, D. & Cable, R. M.: 1933. The effect of alternating temperatures on the pupal development of *Drosophila melanogaster* Meigen. *ibid.* **6**: 493—508.
[36] Parker, J. R.: 1930. Some effects of temperature and moisture upon *Melanoplus mexicauus* Saussaure and *Camnula pellucida* Scudder (Orthoptera). *Bull. Univ. of Montana. Agr. Exper. Sta.* **223**: 1—132.
[37] Réaumur, R. A. F. de: 1735. Observations du thermômetre, Men. Acad Roy Sc., Paris., pp. 545—76.
[38] Richardson, C. H.: 1935. An Introduction to Statistical Analysis. (罗大凡、梁宏譯, 1950).
[39] Sanderson, E. D. & Pearis, L. M.: 1914. The relation of temperature to insect life. Tech. Bull., N. H. Call. Agr. Expor. Sta. 7.
[40] Simpson, C. B.: 1903. The codling moth. Bull. U. S. Div. Ent., 165.
[41] Van't Hoff, T. H.: 1884. Etudes de dynamic chimique. Amsterdam, Müller. p. 107.

TESTING THE NUMBER OF GENERATIONS OF THE ARMY WORM (*CIRPHIS UNIPUNCTA* HAW.) OCCURRING IN VARIOUS GEOGRAPHICAL REGIONS IN CHINA BY THE METHOD OF "THERMAL SUMS"

LIN CH'ANG-SHAN & CHENG CHENG-LIANG

Peking University

The army worm (*Cirphis unipuncta* Haw.) was commonly found in a wide geographical district in China occurring on the extreme North to the South. It was known also that the number of generations varies according to the position of the latitude, being more in the lower latitude and fewer generations in the higher latitude. This phenomena was tested by means of "thermal sums" equation. The present studies indicate that the equation holds fairly well for this particular pest. That is to say, we may use this equation together with the available meteorological data to estimate the possible and approximate number of generations that may happen in certain regions.

In the laboratory under various constant temperature conditions the biological constants were computed. They were found as follows:

Stages	Thresthod for development	"Thermal constant"
Egg	13.1°C.	45 day-degrees
Larva	7.7°C.	402 day-degrees
Pupa	12.6°C.	121 day-degrees
Adult (sexual maturity)	9.0°C.	111 day-degrees
Complete generation	9.6°C.	685 day-degrees

With these constant values and the meteorological data it was found that the number of generations varies in the following natural regions:

Tung-pei (Northeastern) region ······ 1—2 generations
Hwa-pei (North China) region ······ 3—4 generations
Hwa-chung (Central China) region ······ 4—7 generations
Hwa-nan (South China) region ······ 7—8 generations
Kang-tian (Sikang-Yunnan) region ······ 3—4 generations
Tsing-tsang (Tsinghai-Tibet) region ······ 1—2 generations
Mon-Sin (Mongolia-Sinkiang) region ······ 2—3 generations

For a better estimation of the range of number of generations it was suggested to use the "standard error of estimate" method in supplementing the well-known hyperbolic equation; while for more accurate estimate for specific region certain correcting factors must be made.

The present authors also suggest that it was quite possible to use the mean annual isotherm line as the approximate line of division between two adjacent regions, thus:

Isotherm line of -2°C. separating 1 and 2-generation regions
Isotherm line of 6°C. separating 2 and 3-generation regions
Isotherm line of 12°C. separating 3 and 4-generation regions
Isotherm line of 16°C. separating 4 and 5-generation regions
Isotherm line of 18°C. separating 5 and 6-generation regions
Isotherm line of 20°C. separating 6 and 7-generation regions
Isotherm line of 22°C. separating 7 and 8-generation regions

In the light of the "thermal constant" idea the possible overwintering stage in certain region was also suggested, for example, in Peking and Harbin, it was principally the pupal stage.

Finally, in the discussion the possible use and the limit of the Sanderson-Pearis-Krogh generalization were mentioned and other possible correcting factors also considered.